

# استخراج مدل CityGML ساختمان‌ها در سطح ۴ جزئیات از اطلاعات پایگاه داده داوطلبانه OSM

سیمین سادات میروهابی<sup>۱</sup>، رحیم علی عباسپور<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی -

پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

mirvahabi.s@ut.ac.ir

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

abaspour@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت دی ۱۳۹۴، تاریخ تصویب خرداد ۱۳۹۵)

## چکیده

در سال‌های اخیر، اطلاعات مکانی داوطلبانه به سرعت توسعه یافته و به عنوان منبع جدید و مهمی برای تامین اطلاعات مکانی مورد توجه قرار گرفته است. در آغاز، این اطلاعات فقط در دو بعد به اشتراک گذاشته می‌شدند؛ ولی با گذشت زمان، کاربران به جمع‌آوری و ثبت اطلاعات در بعد سوم نیز روی آوردند. OSM یکی از پروژه‌های مهم در زمینه اطلاعات مکانی داوطلبانه است که تاکنون برای استخراج مدل سه‌بعدی از اطلاعات آن تلاش‌های بسیاری صورت گرفته است. در تحقیق پیش رو، روشی برای استخراج خودکار اطلاعات سه‌بعدی از داده‌های موجود در پایگاه داده OSM و ایجاد مدل سه‌بعدی از داده‌های در سطح ۴ جزئیات ارائه شده است. خروجی این روش مدل سه‌بعدی ساختمان‌ها در قالب CityGML است که قابلیت استفاده به عنوان ورودی برای سایر تحلیل‌های مکانی را دارد. روش پیشنهادی به زبان جاوا و با نرم‌افزار NetBeans نوشته شده است. روش مذکور از حداقل اطلاعات معنایی ورودی برای ایجاد مدل سه‌بعدی استفاده می‌کند. این روش به ایجاد هرچه واقعی‌تر مدل سه‌بعدی از اطلاعات داوطلبانه مردمی پرداخته و سازگار با اطلاعات ساختمانی بومی ایران می‌باشد و از نتایج حاصل از آن می‌توان برای توسعه‌ی مجازی سه‌بعدی شهرها مبتنی بر اطلاعات VGI بهره‌شایانی برد.

**واژگان کلیدی:** مدلسازی سه‌بعدی، اطلاعات مکانی داوطلبانه، OSM، CityGML، سطح جزئیات ساختمان

\* نویسنده رابط

## ۱- مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت جهان به ویژه در مناطق شهری بر اهمیت مدل‌سازی سه‌بعدی شهری برای مدیریت هرچه بهتر رشد شهرها بیش از پیش تاکید دارد. به سبب سه‌بعدی بودن محیط زندگی افراد و سازگاری طبیعی مغز انسان با تفسیر سه‌بعدی اشیاء، وجود اینگونه مدل‌ها به درک بهتر پدیده‌های شهری کمک شایانی می‌کنند. از سوی دیگر، وجود داده‌های رقومی سه‌بعدی سبب افزایش دقت، کارایی و بهبود نتایج بسیاری از تحلیل‌های مکانی می‌گردد [۱]. مدل‌سازی سه‌بعدی محیط شهری و ابنیه واقع در آن، به ویژه ساختمان‌ها، در زمینه‌های مختلفی از قبیل مدیریت شهری، مدیریت ترافیک و ناوبری شهری، مدیریت بحران و عملیات نجات، مدیریت منابع و امکانات و گردشگری نقش بسزایی ایفا می‌کند [۲ و ۳].

یکی از مسائل مهم در مدل‌سازی سه‌بعدی، جمع‌آوری داده‌های سه‌بعدی با دقت و صحت مطلوب است. جمع‌آوری این داده‌ها به صورت تجاری و سنتی مستلزم صرف هزینه و زمان بسیار است [۴]. از این رو پیدا کردن منبع جایگزین ارزانتر و سریعتر برای گردآوری این اطلاعات از مسائل مورد بحث در چند سال اخیر می‌باشد. استفاده از افراد عادی به عنوان حسگرهایی که به جمع‌آوری، تولید، به اشتراک گذاری و تصحیح داده‌های مکانی می‌پردازند [۵]، یکی از راه‌های کارآمد مورد پسند است. در این راستا، در سالهای اخیر مفاهیمی چون جمع‌سپاری، محتوای کاربر تولید و نقشه‌برداری مشارکتی باعث ایجاد مفهومی به نام اطلاعات مکانی داوطلبانه (VGI) شده است. بر اساس این مفهوم، اطلاعات مکانی توسط افراد عامه و کاربران برای بارگذاری در پروژه‌های VGI جمع‌آوری می‌شود. این اطلاعات اغلب مبتنی بر اندازه‌گیری‌های شخصی فرد توسط ابزارهایی چون GPS دستی، تلفن‌های همراه هوشمند و یا دانش شخصی وی بوده و در بستر وب ۲،۰ به اشتراک گذاشته می‌شود [۱]. از مهمترین مزایای VGI می‌توان به خود بهبودی، خود ترویجی، ایجاد زیرساخت اطلاعات مکانی پویا و صرفه جویی در هزینه‌ی برداشت داده‌های مکانی اشاره کرد. یکی دیگر از مزیت‌های این پروژه‌ها تشویق مردم با هر سطح دانش و تخصصی برای جمع‌آوری و اشتراک گذاری داده‌های مکانی است. علاوه بر این وجود رابط‌های کاربری مناسب با

سطح توانایی و تخصص افراد مختلف در افزایش هر چه بیشتر مشارکت کاربران نقش بسزایی دارد [۴ و ۵ و ۶ و ۷ و ۸]. پروژه‌های مکانی متعددی در زمینه VGI ایجاد شده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به پروژه‌های WikiMapia<sup>۱</sup> و Google's 3D Warehouse<sup>۲</sup> و Google Earth<sup>۳</sup> اشاره کرد [۹]. یکی از مهمترین پروژه‌های اطلاعات مکانی داوطلبانه، OpenStreetMap (OSM) می‌باشد که کاربران بصورت داوطلبانه و با استفاده از ویرایشگرهای OSM و تصاویر ماهواره‌ای دارای دقت بالا به ثبت اطلاعات مکانی مانند گذرگاه‌ها، نقاط مورد علاقه، پای ساختمان‌ها و دیگر عوارض مکانی مهم می‌پردازند. داده‌های فوق به صورت مجموعه‌ای از نقاط زمین مرجع شده به صورت رقومی وارد پایگاه داده OSM می‌شوند [۱۰ و ۱۱]. در ابتدا حجم وسیعی از داده‌های به اشتراک گذاشته شده در پایگاه داده OSM را داده‌های مکانی دوبعدی تشکیل می‌داد، اما از سال ۲۰۰۸، کاربران شروع به گردآوری داده‌های سه‌بعدی مانند ارتفاع، شکل سقف و تعداد طبقات ساختمان‌ها کردند. ارزش بالای داده‌ها در بعد سوم و کاربرد بسیار مدل‌های سه‌بعدی، OSM را به سمت ایجاد محیط‌هایی برای نمایش این اطلاعات سه‌بعدی سوق داد [۹ و ۱۱].

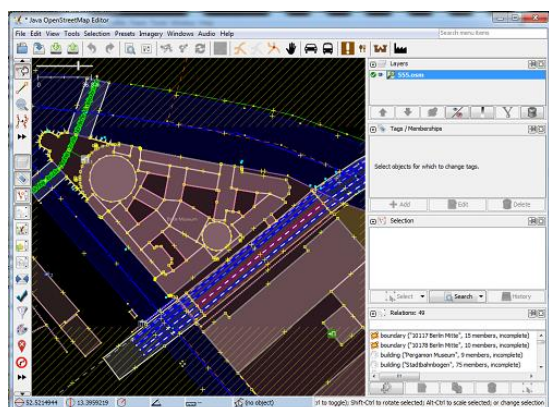
در تحقیق پیش رو، سعی در استخراج اطلاعات سه‌بعدی ساختمان‌ها از داده‌های داوطلبانه موجود در فایل خروجی پایگاه داده OSM و ایجاد خودکار مدل سه‌بعدی براساس قالب داده CityGML در سطح ۴ جزئیات، با تاکید بر مؤلفه‌های اصلی ساختمان‌ها می‌باشد. این روش به ایجاد هرچه واقعی‌تر مدل سه‌بعدی از اطلاعات داوطلبانه مردمی پرداخته و سازگار با اطلاعات ساختمانی بومی ایران می‌باشد و از نتایج حاصل از آن می‌توان برای توسعه‌ی مجازی سه‌بعدی شهرها مبتنی بر اطلاعات VGI بهره شایانی برد. در بخش بعدی این تحقیق، ابتدا به بررسی پروژه OSM و خصوصیات این پروژه به ویژه ماهیت و نحوه بارگذاری اطلاعات مکانی در پایگاه داده این پروژه می‌پردازیم. در ادامه مروری بر تحقیقات پیشین مبتنی بر مدل‌های سه‌بعدی شهری اطلاعات مکانی داوطلبانه خواهیم داشت. در بخش بعد به معرفی قالب‌ها و استانداردهای رایج در زمینه سه‌بعدی سازی، مقایسه آنها

<sup>۱</sup> <http://wikimapia.org/>

<sup>۲</sup> <http://sketchup.google.com/3dwh>

<sup>۳</sup> <https://earth.google.com/>

برای بیان عوارض نقطه‌ای، داده‌ها در قالب نقاط زمین مرجع یا node که دارای طول و عرض جغرافیایی می‌باشند، وارد پایگاه داده می‌شوند. برای نمایش و ذخیره عوارض خطی از قبیل خیابان‌ها و جاده‌ها از مجموعه‌ای از node ها استفاده می‌شود که تشکیل یک way را می‌دهند. یک Way بسته، یک چندضلعی را تشکیل می‌دهد که اغلب برای نمایش محدوده‌ها و پای ساختمان‌ها<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. برای ایجاد عوارض پیچیده مانند ساختمان‌ها به همراه قسمت‌های داخلی، از relation استفاده می‌شود که ترکیبی از عوارض نقطه‌ای و خطی با هم است [۴ و ۱۱].



شکل ۱- نمایشی از داده‌های OSM در ویرایشگر JOSM

برای تکمیل اطلاعات وارد شده در پایگاه علاوه بر اطلاعات هندسی به اطلاعات توصیفی نیز نیاز است. برای اضافه کردن اطلاعات توصیفی یا اطلاعات معنایی<sup>۲</sup> از دوتایی‌های مقدار-کلید-مقدار<sup>۳</sup> استفاده می‌شود که در ایجاد آن‌ها محدودیتی برای کاربران وجود ندارد و نوع کلید ساخته شده و مقدار آن به انتخاب کاربر می‌باشد. البته تعدادی دستورالعمل برای نحوه تعریف دوتایی‌های معنایی براساس نوع عوارض پیشنهاد شده است که استفاده از آن‌ها اختیاری است [۴].

از اطلاعات وارد شده در پایگاه داده OSM در زمینه های مختلفی استفاده می‌گردد که یکی از این زمینه‌ها ایجاد مدل‌های سه‌بعدی برای مقاصد مختلف می‌باشد. در ادامه بیشتر به این موضوع خواهیم پرداخت.

با یکدیگر و معرفی قالب پر کاربرد CityGML پرداخته شده است. در بخش ۴ ضمن ارائه روش پیشنهادی، نحوه ثبت اطلاعات در پایگاه داده OSM و اطلاعات معنایی مورد نیاز برای ساخت مدل سه‌بعدی معرفی و سپس به پیاده‌سازی روش مذکور پرداخته شده است. در انتها نیز جمع بندی و نتیجه‌گیری از تحقیق موجود می‌باشد.

## ۲- پروژه پایگاه اطلاعات مکانی داوطلبانه OpenStreetMap

یکی از مهمترین پروژه‌های موجود در زمینه اطلاعات مکانی داوطلبانه OSM است. OSM در سال ۲۰۰۴ تاسیس گردید و تا ماه نوامبر ۲۰۱۴ بیش از ۱,۸۵۰,۰۰۰ کاربر ثبت شده را به خود اختصاص داد [۱۰]. هدف اصلی OSM ایجاد و نگهداری یک نقشه رایگان، قابل ویرایش توسط کاربران و آنلاین با پوشش سراسری جهانی تحت وب برای رفع نیاز کاربران به خرید اطلاعات مکانی می‌باشد [۴ و ۱۱]. اطلاعات توسط کاربران و به صورت نقاط زمین مرجع وارد پایگاه داده OSM می‌شود. سه سطح ویرایشگر (JOSM و potlatch و iD) برای ورود اطلاعات توسط کاربران با توجه به مهارت‌های گرافیکی آن‌ها تعبیه شده است. شکل ۱ نمایشی از اطلاعات وارد شده در پایگاه داده OSM در ویرایشگر JOSM را نشان می‌دهد. داده‌ها براساس اندازه‌گیری‌های کاربران توسط ابزاری مانند GPS و یا براساس آگاهی فردی و دانش شخصی کاربران و گاهی نیز با رقومی کردن از روی تصاویر ماهواره‌ای و هوایی تولید می‌شوند [۳ و ۱۱]. حجم داده‌های موجود در پایگاه داده OSM دارای توزیع یکنواخت نیستند، بلکه در برخی مناطق جزئیات بسیاری ثبت شده است؛ حال آنکه در مناطق دیگر سطح به اشتراک گذاری اطلاعات کم بوده است. این امر تا حدی به تراکم جمعیتی مناطق و میزان استقبال مردم در به اشتراک گذاری داده‌ها وابسته می‌باشد [۱۱ و ۱۲]. این پروژه توانایی پیاده سازی مفهوم معرفی شده توسط Goodchild با عنوان «افراد به عنوان حسگرهای از راه دور» را دارد و کار خود را با رقومی کردن اطلاعات مربوط به جاده‌ها و خیابان‌ها آغاز کرد، ولی هم اکنون طیف وسیعی از عوارض مکانی از قبیل کاربری زمین‌ها، ساختمان‌ها و نقاط مهم را در بر می‌گیرد [۱۰].

براساس مدل داده OSM ساختار داده‌های ورودی به سه دسته way, node, relation طبقه بندی می‌شود.

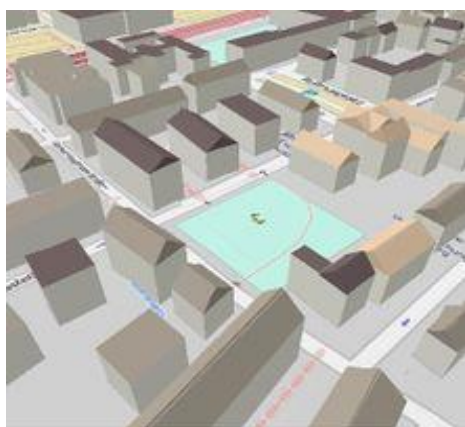
<sup>۱</sup> Building footprint  
<sup>۲</sup> Semantic Information  
<sup>۳</sup> Key-value

### ۳- تحقیقات پیشین در سه بعدی سازی مبتنی بر اطلاعات مکانی داوطلبانه

مدلسازی سه‌بعدی دارای پیشینه‌ای طولانی می‌باشد. اگرچه مدلسازی سه‌بعدی ساختمان‌ها براساس اطلاعات مکانی داوطلبانه در مراحل اولیه قرار دارد اما ایده اصلی آن سال‌هاست مورد بررسی قرار گرفته است [۹]. در این زمینه پروژه‌های مختلف و شرکت‌های متعددی فعالیت کرده‌اند که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره شده است. پروژه Google's 3D Warehouse یک از پروژه‌های برجسته در زمینه مدل‌های سه‌بعدی می‌باشد. این پروژه یک مخزن شامل اطلاعات سه‌بعدی مربوط به عوارض زمین مرجع از قبیل استادیوم و کلیسا و عوارض غیر زمین مرجع مانند درختان و صندوق پستی بوده و اطلاعات در آن توسط کاربران جمع‌آوری می‌شود. مدل سه‌بعدی حاصل در بستر Google Earth نمایش داده می‌شود. به اشتراک گذاری اطلاعات و ویرایش آن‌ها در پروژه مذکور نیاز به تخصص و آموزش در زمینه سه‌بعدی سازی دارد. علاوه بر این پروژه Building Maker نیز توسط شرکت Google ایجاد گردید که تاکید بر نمایش ساختمان‌ها داشت و کاربران برای وارد کردن اطلاعات در آن نیاز به آموزش تخصصی و داشتن مهارت خاص نداشتند [۹].

پروژه‌های دیگری نیز در زمینه سه‌بعدی سازی مبتنی بر VGI فعالیت کردند ولی قالب آن‌ها مثل ۲ پروژه مذکور اغلب تحت نظارت شرکت خاصی هستند و استفاده از اطلاعات آن‌ها نیاز به دسترسی خاص داشته و برای عموم امکان پذیر نیست. در این میان پروژه OSM این امتیاز را دارد که کار با آن‌ها راحت بوده و امکان ویرایش و استفاده از داده‌های ورودی برای عموم کاربران وجود دارد. یکی از معروف ترین پروژه‌های سه‌بعدی مبتنی بر OSM پروژه OSM-3D<sup>۱</sup> است که هدف آن ایجاد نمایشی سه‌بعدی و تعامل پذیر از داده‌های موجود در پایگاه داده OSM در بستر وب<sup>۲</sup> می‌باشد [۱۱]. در این پروژه نمایش سه‌بعدی به کمک قالب‌های نمایشی رایجی از قبیل VRML، X3D<sup>۳</sup>، صورت می‌گیرد. همچنین نرم افزار طرف کاربر تحت عنوان XNavigator برای نمایش عوارض تعبیه شده است

[۹ و ۱۲]. پروژه فوق صرف نمایشی داشته، توپولوژی عوارض را حفظ نمی‌کند و تا سطح دوم جزئیات<sup>۴</sup> (شکل ۲) از نمایش ساختمان‌ها پشتیبانی می‌کند [۴].



شکل ۱- نمایش ساختمان‌ها در نمایشگر آنلاین OSM-3D

یکی از پروژه‌هایی آفلاین و پلاگینی برای نمایش اطلاعات پایگاه داده OSM به صورت سه‌بعدی پروژه Kendzi3D می‌باشد. این پروژه کار خود را در سال ۲۰۱۱ آغاز کرد و پیوسته سعی در تکمیل ابعاد نمایشی خود دارد. این پروژه از طریق ویرایشگر JOSM قابل دانلود و امکان افزودن به صورت پلاگین به ویرایشگر گرافیکی JOSM را دارا می‌باشد [۱۳ و ۱۴]. در این پروژه امکان نمایش ساختمان‌ها در سطح دوم جزئیات وجود دارد. علاوه بر این، امکان نمایش تعدادی از سقف‌ها و بافت‌ها در ساختمان نیز در این پروژه فراهم شده است. علاوه بر پروژه‌های فوق الذکر پروژه‌های دیگری نظیر Glosm<sup>۵</sup>، F4Map<sup>۶</sup> و OpenMapSurfer<sup>۷</sup> مبتنی بر اطلاعات مکانی OSM ایجاد گردیده‌اند [۸] ولی تمام این پروژه‌ها صرفاً به جنبه نمایشی اطلاعات پرداخته و بعد معنایی داده‌های سه‌بعدی در نظر گرفته نشده است. در ضمن، امکان گرفتن خروجی از مدل داده نمایش داده شده، برای مقاصد ثانویه از جمله تحلیل‌های مکانی وجود ندارد. علاوه بر این، در این پروژه‌ها روابط مکانی موجود بین عوارض در حالت سه‌بعدی در نظر گرفته نشده است که خود یک نکته بسیار مهم در امر مدلسازی سه‌بعدی و استفاده از مدل‌های حاصل برای تحلیل‌های مکانی به شمار می‌رود.

<sup>۳</sup> Level of Detail 2 (LoD2)

<sup>۴</sup> <http://glosm.amdmi3.ru>

<sup>۵</sup> <http://demo.f4map.com>

<sup>۶</sup> <http://korona.geog.uni-heidelberg.de>

<sup>۱</sup> <http://www.osm-3d.org>

<sup>۲</sup> Extensible 3D

#### ۴- قالب‌ها و استانداردهای رایج در سه‌بعدی سازی و مقایسه آن‌ها

برای نمایش اطلاعات سه‌بعدی قالب‌های بسیاری از قبیل VRML، X3D، COLLADA<sup>۱</sup>، KML<sup>۲</sup>، GML3<sup>۳</sup> و CityGML<sup>۴</sup> ایجاد شده‌اند. VRML با پشتیبانی از هندسه‌ای ساده، نورپردازی و امکان تعریف رنگ، مدلی استاتیک با قابلیت تغییر زوایای دید ارائه می‌دهد. اگرچه VRML قابلیت‌های مختلفی در نمایش گرافیکی دارد ولی مسائلی از قبیل پیچیده بودن ساختار، سرعت پایین نمایش و ذخیره سازی اشیای پیچیده و نبود استاندارد برای توسعه مدل داده را جزو محدودیت‌های آن به شمار می‌رود. به همین منظور قالب داده X3D برای رفع نواقص مدل VRML ایجاد گردید. این قالب دارای ساختار مبتنی بر XML می‌باشد. ساختار XML مبنا X3D باعث داشتن ویژگی‌هایی چون امکان اعتبار سنجی، تعامل و سازگاری با صفحات وب، تبدیل آسان به سایر سندهای مبتنی بر XML و تبادل بین برنامه‌های مختلف می‌شود. شکل ۳ نمایی از Globe ایجاد شده توسط X3D برای OSM را نمایش می‌دهد [۱۵].



شکل ۲- از قالب X3D در برنامه OpenStreetMap [۱۵]

جدول ۱ به بیان تعدادی از ویژگی‌های قالب‌های سه‌بعدی یاد شده و مقایسه آن‌ها با یکدیگر بر اساس این ویژگی‌ها پرداخته است. با توجه به جدول و مقایسه قالب‌ها با هم استنباط می‌شود که قالب استاندارد CityGML در بین قالب‌های موجود از پتانسیل بیشتری برای نمایش اطلاعات سه‌بعدی، به خصوص اطلاعات سه‌بعدی شهری برخوردار می‌باشد و در اکثر ویژگی‌های مذکور دارای پشتیبانی کامل و پشتیبانی توسعه یافته است. قالب‌های دیگر غالباً بر جنبه نمایشی داده‌های سه‌بعدی تمرکز داشته و کمتر به اطلاعات معنایی پرداخته‌اند. عدم توجه به تعدادی از ویژگی‌های یاد شده در جدول ۱ در بسیاری از این استانداردهای مذکور نیز از دیگر ضعف‌های موجود در آن‌ها می‌باشد. حال آن که استاندارد CityGML در اغلب ویژگی‌های یاد شده در جدول ۱ یا پشتیبانی کامل دارد یا به صورت توسعه یافته پشتیبانی می‌کند.

استاندارد COLLADA از دیگر استانداردهای گرافیکی نمایش سه‌بعدی مبتنی بر XML بوده که نسبت به X3D از قابلیت‌های بیشتری برخوردار می‌باشد و پس از آن مطرح گردید. برنامه‌های بسیاری چون برنامه‌های GIS و CAD مبنا و همچنین بازی‌های رایانه‌ای و تحت وب از این قالب داده پشتیبانی می‌کنند [۱۶]. از دسته استانداردهای مبتنی بر XML می‌توان KML را نام برد. KML استاندارد برای نمایش سه‌بعدی، دارای محتوای چندرسانه‌ای و همچنین مدل داده‌ای برای تبادل در پروژه Google Earth می‌باشد. استاندارد KML نیز جزوه دسته استانداردهای مبتنی بر XML می‌باشد.

استاندارد GML3 که براساس مدل داده GML توسعه یافته، مدل داده‌ای است که به منظور جدا نمودن محتوا از نمایش و مدلسازی، ذخیره و تبادل داده‌های خام مکانی ایجاد گردیده است. این زبان مدلسازی، به دلیل تبعیت از

<sup>۱</sup> Collaborative Design Activity

<sup>۲</sup> Keyhole Markup Language

<sup>۳</sup> Geography Markup Language

<sup>۴</sup> City Geography Markup Language

جدول ۱- مقایسه قالب‌های سه‌بعدی موجود [۱۷]

(پشتیبانی توسعه یافته ++، پشتیبانی کامل +، پشتیبانی اولیه 0 و عدم پشتیبانی -)

| 3D PDF | CityGML | IFC | COLLADA | KML | X3D | VRML | SHP | DEX | قالب سه‌بعدی                  |
|--------|---------|-----|---------|-----|-----|------|-----|-----|-------------------------------|
|        |         |     |         |     |     |      |     |     | معیار مقایسه                  |
| ++     | +       | ++  | ++      | +   | ++  | ++   | +   | ++  | هندسه                         |
| -      | +       | +   | +       | -   | 0   | 0    | -   | -   | توپولوژی                      |
| +      | +       | -   | ++      | 0   | ++  | ++   | 0   | -   | نمایش بافت ساختمان            |
| -      | +       | -   | -       | -   | +   | +    | -   | -   | پشتیبانی از سطح جزئیات (LoD)  |
| +      | +       | +   | -       | -   | +   | +    | +   | 0   | نمایش عوارض                   |
| +      | ++      | ++  | 0       | 0   | 0   | 0    | +   | +   | اطلاعات معنایی                |
| +      | +       | +   | -       | 0   | 0   | 0    | +   | -   | اطلاعات توصیفی                |
| -      | +       | +   | -       | -   | +   | -    | -   | -   | مبتنی بر XML                  |
| 0      | +       | -   | +       | ++  | ++  | +    | -   | -   | قابلیت نمایش تحت وب           |
| +      | +       | -   | -       | +   | +   | -    | +   | +   | زمین مرجع بودن                |
| ++     | +       | 0   | +       | ++  | 0   | ++   | ++  | ++  | پذیرش (استاندارد پذیرفته شده) |

#### ۴-۱- استاندارد نمایش سه‌بعدی CityGML

این بخش معرفی مختصری از استاندارد CityGML با تمرکز روی نمایش ساختمان‌ها و عوارض شهری موجود می‌باشد. CityGML استاندارد و مدل داده‌ای باز مبتنی بر XML برای نمایش، ذخیره‌سازی و تبادل مدل‌های سه-بعدی شهری می‌باشد. این استاندارد مدل داده برداری با قابلیت حفظ اطلاعات معنایی و شمای مورد استفاده در آن براساس GML3 می‌باشد. CityGML دو بخشی مدل مرکزی هندسی<sup>۱</sup> و مدل‌های موضوعی<sup>۲</sup> دارد. مدل هندسی به عنوان core model و بقیه مدل‌های موجود به عنوان مدل موضوعی شناخته می‌شوند. مدل‌های موضوعی شامل مدل نمایشی، توپوگرافی، پوشش گیاهی، عوارض شهری، ساختمان‌ها، کاربری زمین و ... می‌باشد [۱۷ و ۱۸].

تمرکز اصلی استاندارد نمایش مناطق شهری، ابنیه و ساختمان‌ها می‌باشد. برای نمایش عوارض به ویژه عوارض ساختمانی ۵ سطح جزئیات تعریف شده است. در واقع یک عارضه امکان نمایش در ۵ مقیاس مختلف را داراست. سطح صفر جزئیات (LoD0): عبارت است از نمایش ۲/۵ بعدی مدل رقومی ارتفاعی (DTM).

- سطح ۱ جزئیات (LoD1): مدل بلوک ساختمان (به شکل چندوجهی) با سقف مسطح می‌باشد.
- سطح ۲ جزئیات (LoD2): نمایش سقف‌های مختلف و سطوح متفاوت.
- سطح ۳ جزئیات (LoD3): نمایش مدل مهندسی شامل دیوارها، درها، پنجره‌ها، بالکن و جزئیات بیشتر نمای ساختمان.
- سطح ۴ جزئیات (LoD4): تکمیل کننده سطح ۳ و شامل عوارض داخلی ساختمان شامل اتاق-ها، راهروها، پله‌ها و اثاثیه منزل.
- شکل ۴ سطوح مختلف نمایش جزئیات معرفی شده در استاندارد CityGML را نشان می‌دهد. علاوه بر سطوح مذکور چند سطح میانی نیز برای تفکیک بیشتر اطلاعات به شرح زیر ایجاد شده است [۲۰]:
- سطح ۱/۵ جزئیات (LoD1.5): نمایش سطح ۱ به همراه نمایش طبقات ساختمان (محدوده طبقات)
- سطح ۲/۵ جزئیات (LoD2.5): نمایش سطح ۲ به همراه تقسیمات نواحی هر طبقه (محدوده آپارتمان‌ها)
- سطح ۳/۵ جزئیات (LoD3.5): نمایش سطح ۳ به همراه محدوده آپارتمان‌ها و درها و پنجره-های داخلی.

<sup>۱</sup> Geometry model  
<sup>۲</sup> Thematic models

هندسی ساختمان می‌باشد [۲۲]. حفظ ساختار توپولوژیک و روابط توپولوژی بین عوارض از دیگر نقاط قوت این ساختار داده به شمار می‌رود.

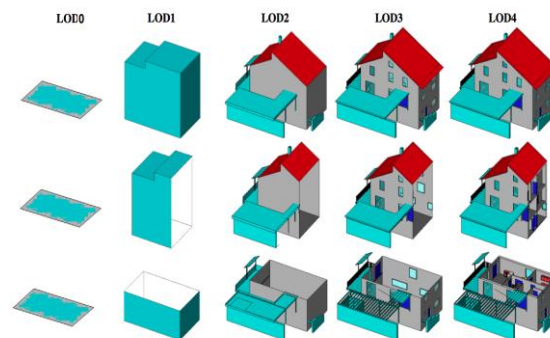
## ۵- روش پیشنهادی برای ساخت اتوماتیک مدل CityGML از داده‌های OSM

در این بخش ابتدا به ارائه الگو لازم برای جمع‌آوری و ثبت داده‌ها در پایگاه داده OSM و معرفی دوتایی‌های کلید-مقدار ضروری پرداخته شده است. سپس با استفاده از داده‌های ورودی روش استخراج اطلاعات و عوارض و تبدیل آن‌ها به قالب پر کاربرد CityGML، به تفصیل شرح داده شده است.

### ۵-۱- نحوه ثبت داده‌ها در پایگاه داده OSM

داده‌های معنایی نقش بسزایی در تکمیل مدل‌های سه‌بعدی و ایجاد تصویر شفاف‌تر از این مدل‌ها دارند. در پایگاه داده OSM علاوه بر ورود اطلاعات هندسی مربوط به محدوده و محل عوارض به صورت node، way و relation امکان وارد کردن اطلاعات معنایی به کمک دوتایی‌های کلید-مقدار وجود دارد. اگرچه محدودیتی در ایجاد این دوتایی‌ها وجود ندارد و انتخاب نوع کلید و مقدار آن متناسب با سلیقه و نیاز کاربر است ولی تا کنون الگوهایی برای ورود یکپارچه اطلاعات مربوط به عوارض ارائه شده است. یکی از این الگوها مبتنی بر آنتولوژی ارائه شده در شکل ۵ و با استفاده از Protégé می‌باشد که برای تعریف و ساماندهی اطلاعات معنایی و ویژگی‌های مربوط به محدوده داخلی و خارجی ساختمان و ابنیه در پایگاه داده OSM ایجاد شده است [۲۳].

با توجه به روش ارائه شده در این تحقیق، وجود تعدادی از اطلاعات معنایی معرفی شده در شکل ۵ برای ساخت مدل سه‌بعدی ساختمانی ضروری می‌باشد. برای هر ساختمان وجود دوتایی کلید-مقداری با کلید minLevel، levels و maxLevel به ترتیب برای بیان تعداد طبقات ساختمان، شماره پایین‌ترین طبقه ساختمان و شماره بالاترین طبقه ساختمان با مقدار عددی ضروری است. برای طبقات نیز باید ارتفاع هر طبقه تحت کلید levelHeight وارد شود. اگر ارتفاع طبقات به صورت تیپ با هم برابر باشد امکان تعریف ارتفاع ساختمان با کلید buildingHeight وجود دارد که بر اساس آن روش با داشتن تعداد کل طبقات ساختمان به هر طبقه



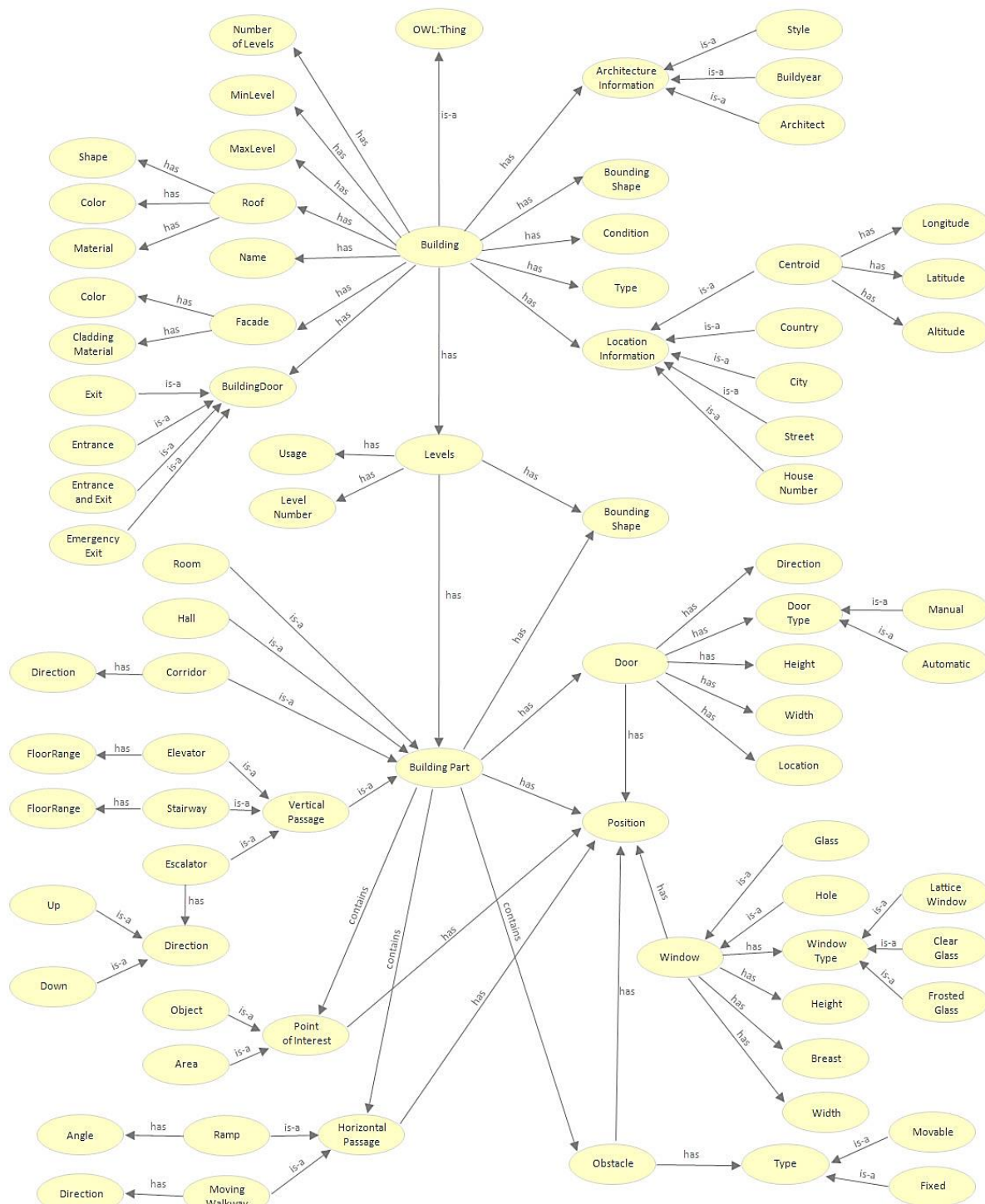
شکل ۳- سطوح مختلف جزئیات نمایش ساختمان در استاندارد CityGML [۲۱]

استاندارد CityGML توانایی نمایش حجم وسیعی از عوارض شهری را دارد، ولی در این تحقیق تمرکز بر روی ساختمان‌ها و ابنیه می‌باشد. مدل ساختمانی یکی از مفصل‌ترین بخش‌های مدل‌های موضوعی در CityGML می‌باشد. کلاس اصلی در این مدل AbstractBuilding که به دو زیر کلاس Building و BuildingPart تقسیم می‌شود. هر دو زیر کلاس مذکور دارای اطلاعات توصیفی مختص خود از قبیل نوع کاربری، تعداد کل طبقات، شماره پایین‌ترین و بالاترین طبقه و ... می‌باشد. برای بیان هندسه ساختمان نیز از کلاس gml:MultiSurface استفاده می‌شود که براساس دویبعدی یا سه‌بعدی بودن هندسه ساختمان مذکور دارای بخش‌های مختلفی است. برای نمایش هندسه بیرونی ساختمان از زیر کلاس BuildingInstallation و برای نمایش هندسه درون ساختمان از زیر کلاس IntBuildingInstallation استفاده می‌کند. برای نمایش سطوح و نمای ساختمان نیز کلاس BoundarySurface تعبیه شده است که بر اساس تنوع سطوح شامل: GroundSurface برای نمایش کف ساختمان، FloorSurface برای نمایش طبقات، WallSurface برای نمایش دیوارها، RoofSurface برای نمایش سقف‌ها، Opening برای نمایش درها و پنجره‌ها و ... می‌باشد [۱۹]. هر کدام از کلاس‌های معرفی شده دارای اطلاعات توصیفی مربوط به خود هستند که با توجه به نوع کاربرد از آن‌ها استفاده می‌گردد.

تفاوت اصلی CityGML با دیگر قالب‌های سه‌بعدی موجود از قبیل VRML و X3D وجود اطلاعات معنایی متفاوت همچون نام، آدرس و اطلاعات جزئی مربوط ساختمان و قابلیت ذخیره‌سازی آن‌ها در کنار اطلاعات

ارتفاع مربوط به خود را تخصیص خواهد داد. برای هر طبقه باید شماره طبقه در قالب کلید levelNumber وارد شود. برای وارد کردن درها و پنجره‌ها در داخل پایگاه داده OSM از node (نقطه) استفاده می‌شود. برای هر در وجود کلیدهای height و width به ترتیب برای نمایش نوع در (داخلی و خارجی بودن)، ارتفاع در و عرض در (شکل ۶) الزامی است.

به همین صورت برای ورود پنجره‌ها هم کلیدهای window، height و width، breast به ترتیب برای بیان نوع پنجره، عرض، ارتفاع و ارتفاع پنجره از کف طبقه (شکل ۶) استفاده می‌شوند. این اطلاعات در ساخت در و پنجره به همراه اطلاعات هندسی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

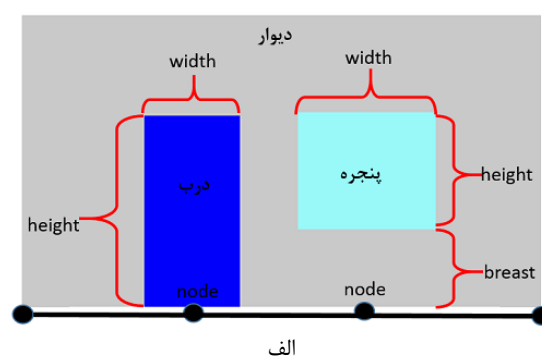


شکل ۴- آنتولوژی تعریف اطلاعات مربوط به محوطه داخلی و خارجی ساختمان [۲۳]

اطلاعات موجود در OSM پرداخته و مراحل ایجاد مدل داده مذکور را به اختصار توضیح می‌دهد. شکل ۷ روش پیشنهادی ایجاد مدل داده سه‌بعدی از اطلاعات مربوط به ساختمان‌ها را نشان می‌دهد. در این شکل سعی شده کلیات روش پیشنهادی بیان شود و از پرداختن به جزئیات هر یک از مراحل صرف نظر شده است.

در این روش ابتدا داده‌های مربوط ساختمان‌ها از فایل OSM خوانده می‌شود. داده‌ها در این فایل بر مبنای مختصات ژئودتیک می‌باشد؛ به همین دلیل در گام بعد تبدیل مختصاتی برای استخراج اطلاعات سیستم مختصات کارترین از مختصات ژئودتیک بر روی داده‌ها صورت می‌گیرد. سپس به ترتیب ساختمان‌های موجود در فایل استخراج شده و مدل سه‌بعدی آن‌ها بر اساس فلوچارت موجود ساخته می‌شود. در هر ساختمان ساخت مدل از پایین‌ترین طبقه شروع می‌شود و پس از ساخت بالاترین طبقه سقف ساختمان تشکیل می‌شود. در هر طبقه نیز ابتدا دیوارهای اصلی طبقه به همراه در و پنجره‌ها و سپس پارتیشن داخلی طبقه به همراه درها و پنجره‌های داخلی (LoD4) ایجاد می‌گردد. مسئله مهم در این روش سازگاری در قرارگیری در و پنجره‌ها و سایر عوارض در دیوار و وجود روابط توپولوژی صحیح بین عوارض است. این روش محدودیتی در تعداد و شکل هندسی دیوارهای ساختمان و همچنین تعداد درها و پنجره‌ها داخلی و خارجی ندارد. علاوه بر مطالب فوق برخلاف برخی از تحقیقات پیشین که برای دب و پنجره‌ها کلید شماره طبقه لازم بود در این روش با حداقل داده معنایی و بدون نیاز به شماره طبقه در و پنجره‌ها قابل پیاده‌سازی هستند [۲۴].

بر اساس این روش، ابتدا برنامه به پردازش فایل ورودی (فایل پلان ساختمان در قالب OSM) می‌پردازد. چون اطلاعات موجود در پایگاه داده OSM جغرافیایی هستند، ابتدا با استفاده از روابط تبدیل مختصات، داده‌ها به سیستم مختصات UTM در می‌آیند. بر مبنای نحوه اطلاعات موجود در پایگاه داده OSM هر ساختمان دارای یک Relation است که مجموع اطلاعات هندسی و معنایی مرتبط با ساختمان را در بر می‌گیرد. این Relation مورد پردازش قرار می‌گیرد و اطلاعات کلی ساختمان از قبیل شماره ساختمان، آدرس و نوع کاربری ساختمان از آن استخراج می‌شود. سپس، این اطلاعات در برچسب‌های مربوط به آدرس و ID ساختمان و ... در قالب سه بعدی CityGML گنجانده می‌شود. در ادامه،



الف

| Key    | Value |
|--------|-------|
| breast | 0.9   |
| height | 1.8   |
| width  | 1.7   |
| window | yes   |

| Member Of                        | Role         | Position |
|----------------------------------|--------------|----------|
| relation ("level8", 142 members) | buildingpart | 119      |

Buttons: Add, Edit, Delete

ب

| Key    | Value |
|--------|-------|
| door   | yes   |
| height | 2     |
| width  | 1     |

| Member Of                        | Role         | Position |
|----------------------------------|--------------|----------|
| relation ("level8", 142 members) | buildingpart | 122      |

Buttons: Add, Edit, Delete

ج

شکل ۵- نمایش اطلاعات معنایی در و پنجره (الف)، اطلاعات معنایی وارد شده در پایگاه داده OSM برای node نماینده پنجره (ب) و اطلاعات معنایی وارد شده در پایگاه داده OSM برای node نماینده در ساختمان (ج)

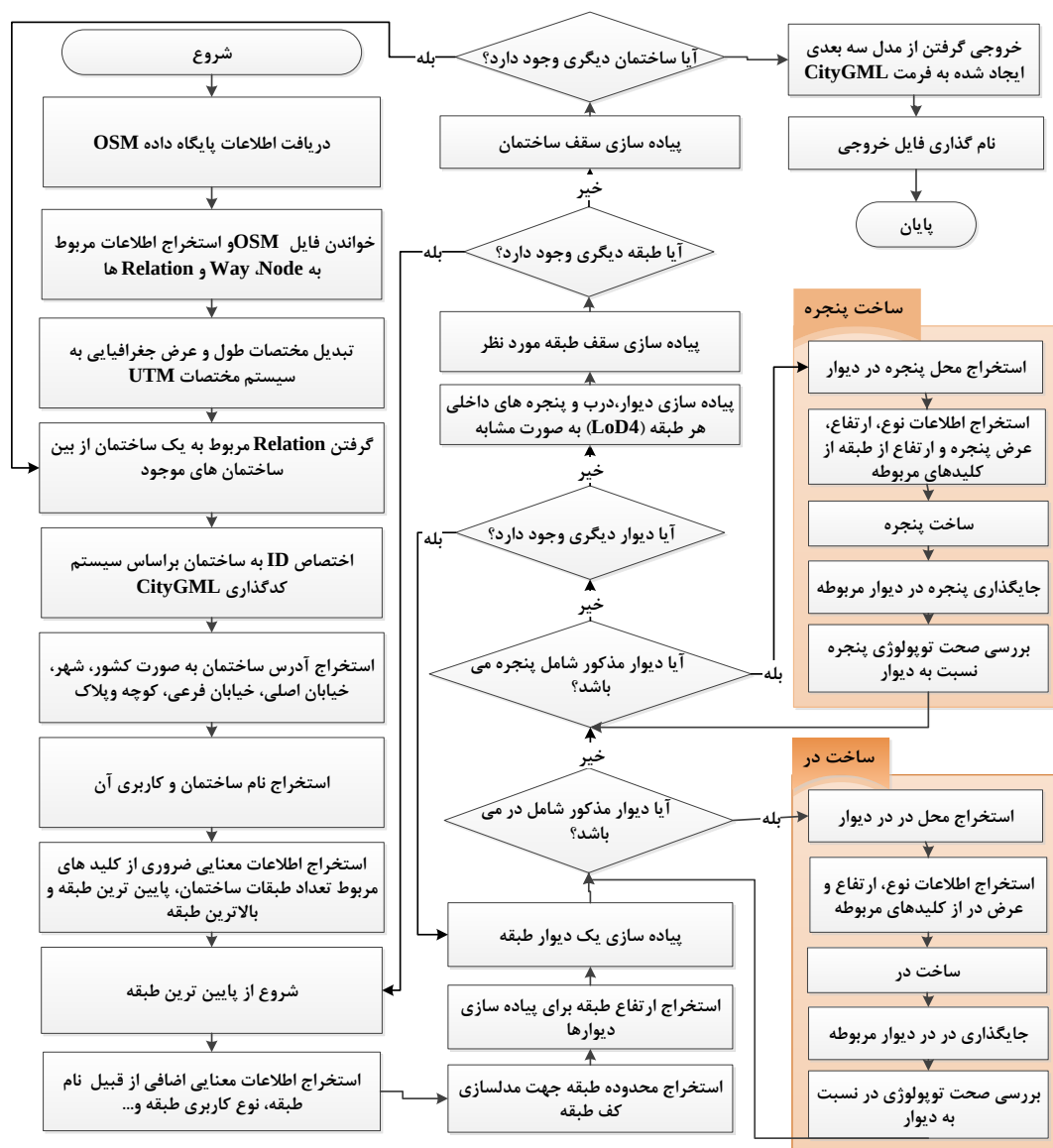
سایر اطلاعات نمایش داده شده در مدل آنتولوژی شکل ۵ نیز می‌توانند به عنوان اطلاعات تکمیلی ساختمان وارد پایگاه داده شوند امکان پشتیبانی از آن‌ها در روش ارائه شده پیش بینی شده است. وارد نکردن اطلاعات موجود در شکل ۵ (به جز موارد یاد شده در بالا) هیچگونه خللی در مراحل ساخت مدل سه‌بعدی ایجاد نخواهد کرد. بدین ترتیب با حداقل اطلاعات معنایی امکان ایجاد یک مدل سه‌بعدی در سطح ۴ جزئیات وجود دارد و این امر یکی از نقاط قوت این روش به شمار می‌رود.

## ۵-۲- روش پیشنهادی ساخت قالب سه بعدی CityGML

پس از معرفی کلیات اطلاعات معنایی برای ساخت مدل سه‌بعدی، این بخش به روش ساخت مدل سه‌بعدی از

بخش هندسی ساختمان در قالب CityGML ساخته می‌شود. برای این منظور، هر ساختمان به طور جداگانه پیاده سازی می‌شود. نحوه پیاده سازی هم به صورت طبقه به طبقه و جزء به جزء از طبقه همکف ساختمان تا طبقه آخر می‌باشد. ابتدا اطلاعات مربوط به اولین طبقه ساختمان (طبقه همکف) مورد استفاده قرار می‌گیرد و اطلاعات معنایی مربوط به آن از قبیل ارتفاع طبقه، کاربری طبقه و سایر اطلاعات موجود در ساختار مدل داده CityGML قرار می‌گیرد. سپس از چندضلعی مربوط به هر ساختمان برای ساخت کف طبقه مورد نظر استفاده می‌گردد. هر دیوار نیز به طور جداگانه و به ترتیب پیاده سازی می‌شود. برای هر دیوار نیاز به ارتفاع دیوار داریم که از ارتفاع طبقه برای این منظور استفاده می‌کنیم. سپس بررسی می‌شود که آیا دیوار مذکور دارای در یا پنجره هست یا خیر. تعداد در و پنجره‌ها استخراج شده و هر کدام از

آن‌ها به ترتیب در ساختار CityGML ایجاد می‌گردند. برای هر پنجره نیاز به ارتفاع پنجره از زمین و ابعاد پنجره داریم که بر اساس اطلاعات معنایی موجود در پایگاه داده OSM این اطلاعات استخراج می‌شود و برای ساخت پنجره مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۶ ب). برای هر در نیز به عرض و ارتفاع آن و نوع در نیاز است که در اطلاعات معنایی وجود دارد (شکل ۶ ج). پس از ساخت در و پنجره مربوط به هر دیوار، تابعی جای گیری صحیح در و پنجره‌ها در دیوار را مورد بررسی قرار می‌دهد و در صورت وجود خطا به اصلاح اطلاعات می‌پردازد. با به اتمام رسیدن پیاده سازی دیوارهای هر طبقه، پیاده سازی سقف طبقه مذکور انجام می‌گیرد. بر اساس اطلاعات هندسی موجود و ارتفاع طبقه، سقف طبقه نیز در قالب CityGML ایجاد می‌گردد.



شکل ۶- الگوریتم مورد استفاده برای ساخت مدل سه بعدی از اطلاعات مکانی داوطلبانه پایگاه داده OSM

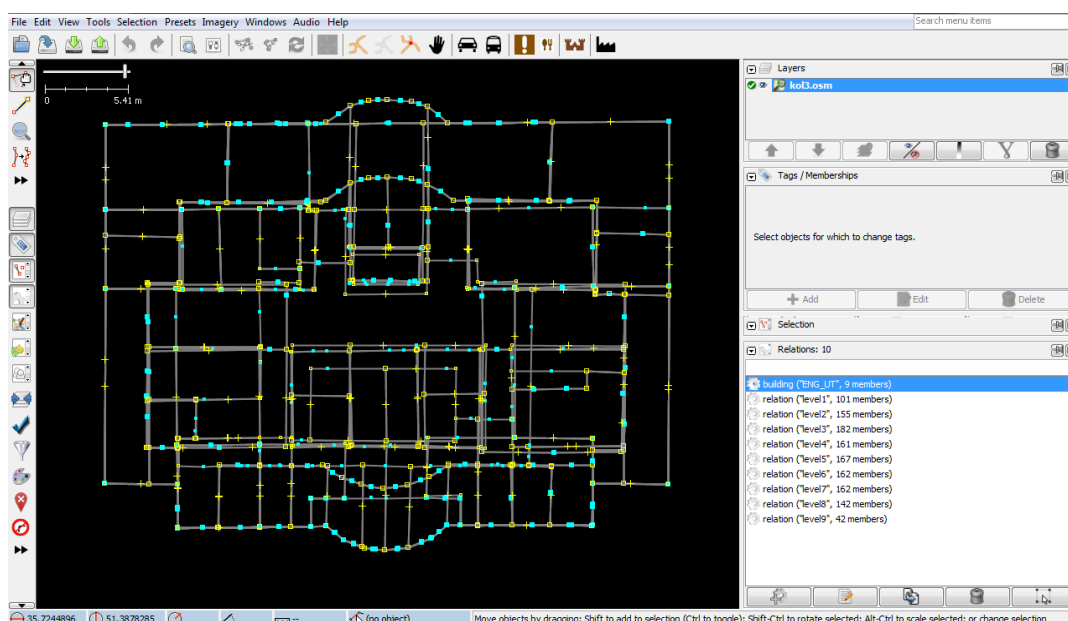
فایل مربوط به پلان ساختمان است که از پایگاه داده OSM استخراج شده و خروجی هم فایلی در قالب سه-بعدی CityGML است. فایل خروجی قابلیت نمایش در تمام نمایشگرهای سه‌بعدی CityGML را دارد که در این پژوهش از نمایشگر FZKViewer برای نمایش فایل خروجی ساختمان استفاده شده است.

ابتدا محدوده/ساختمان مورد نظر از پایگاه داده OSM انتخاب می‌شود. سپس محدوده مورد نظر به برنامه معرفی می‌شود تا براساس روش پیشنهادی مراحل ایجاد مدل سه‌بعدی آغاز گردد. در تحقیق پیش رو برای پیاده‌سازی از ساختمان جدید دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تهران به عنوان نمونه استفاده شده است. ابتدا از پلان این ساختمان در پایگاه داده OSM به همراه دوتایی‌های کلید-مقدار مربوط به ساختمان خروجی گرفته می‌شود. شکل ۸ نمایی از پلان ساختمان موجود در پایگاه داده OSM در ویرایشگر گرافیکی JOSM را نمایش می‌دهد.

بر اساس مراحل مذکور، ساخت یک طبقه از ساختمان به اتمام می‌رسد و ساخت طبقه بعد شروع می‌شود. این روند تا رسیدن به آخرین طبقه ادامه می‌یابد. در روند ساخت هر طبقه هم دیوارهای بیرونی ساختمان تکمیل می‌گردد و هم دیوارهای درونی (پارتیشن داخلی) ایجاد می‌گردد. پس از رسیدن به طبقه آخر ساختمان نوبت به ساخت سقف ساختمان می‌رسد. این قسمت نیز بر اساس هندسه جندضلعی موجود برای سقف در فایل خروجی در قالب CityGML ایجاد می‌گردد. پس از تکمیل تمام قسمت‌های هندسی اولین ساختمان، برنامه به ایجاد ساختمان بعدی موجود در فایل خروجی OSM می‌پردازد. پس از تبدیل تمام ساختمان‌های موجود در فایل خروجی به قالب سه‌بعدی CityGML، برنامه به تولید فایل خروجی با پسوند gml. و یا citygml می‌پردازد.

## ۶- پیاده‌سازی روش پیشنهادی

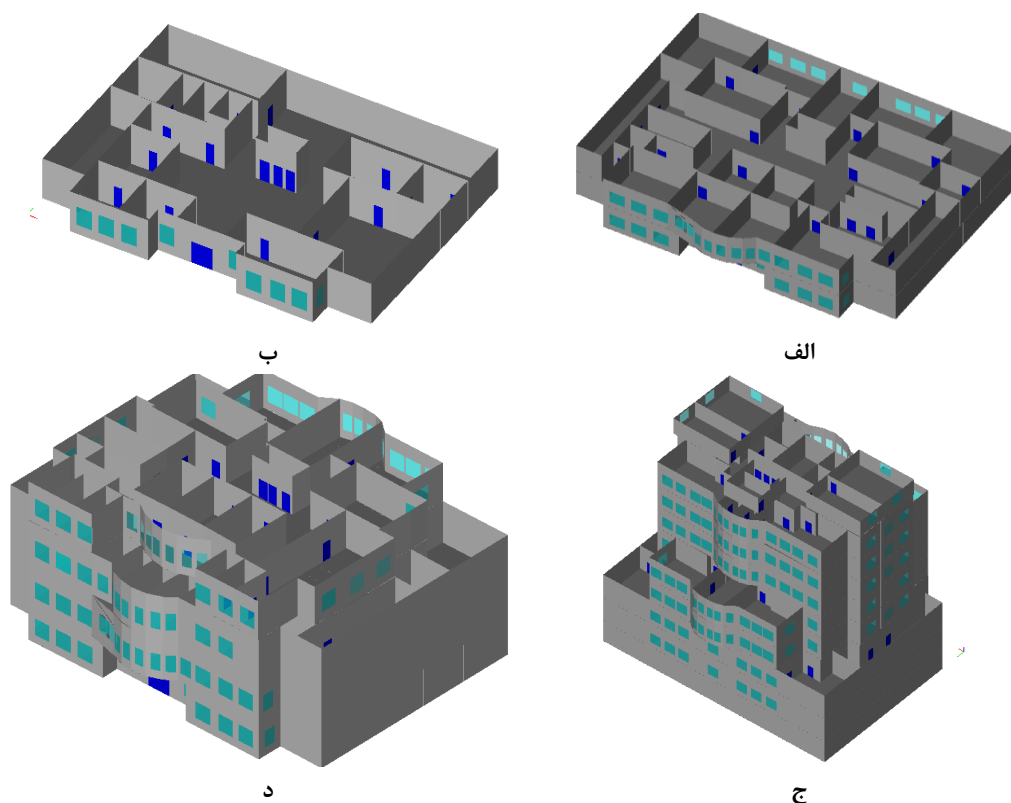
برای پیاده‌سازی روش از زبان برنامه‌نویسی Java و محیط برنامه‌نویسی NetBeans استفاده شد. ورودی برنامه



شکل ۷- نمایی از پلان ساختمان دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تهران در نرم افزار JOSM

ساختمان از طبقه اول آغاز می‌گردد. شکل ۹ مراحل ساخت طبقات مختلف ساختمان را براساس روش پیشنهادی نمایش می‌دهد.

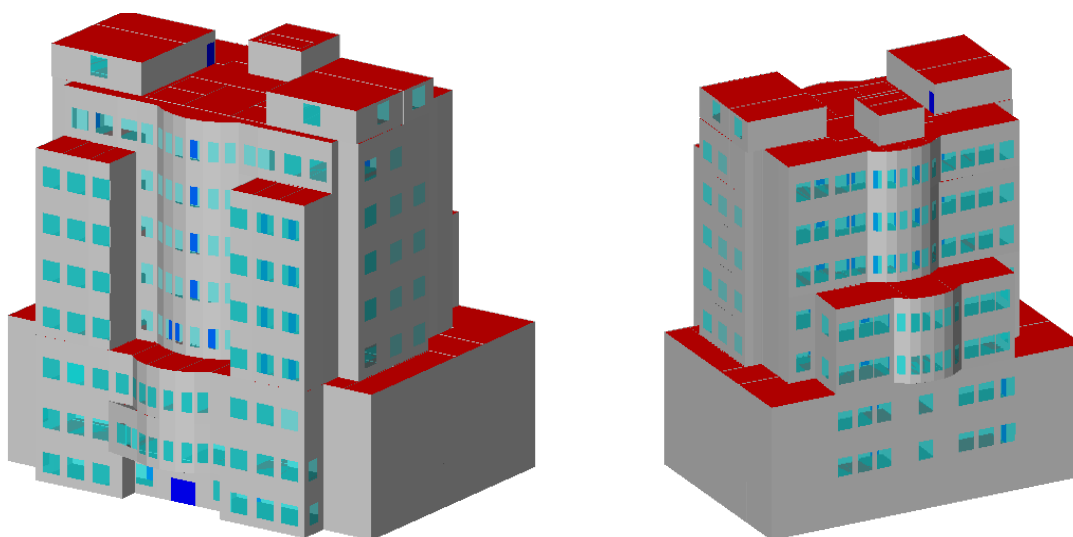
این ساختمان دارای ۹ طبقه می‌باشد که پس از استخراج دوتایی‌های کلید-مقدار ضروری از اطلاعات معنایی، طبق روش مراحل ساخت مدل سه بعدی



شکل ۸- نمایی از طبقات مختلف ساختمان حاصل از روش ایجاد مدل سه‌بعدی مبتنی بر داده‌های OSM

شده است. پس از ساخت طبقات به طور کامل و رسیدن به آخرین طبقه، سقف ساختمان نیز با توجه به اطلاعات معنایی موجود پیاده سازی می‌شود.

همانطور که در شکل ۹ نمایش داده شده است طبقات مختلف ساختمان به همراه پارتیشن داخلی ساختمان و در و پنجره‌های داخلی و خارجی هر طبقه، توسط روش ایجاد



شکل ۹- نمای شمالی و جنوبی ساختمان دانشکده برق و کامپیوتر، خروجی روش پیشنهادی

## ۷- جمع بندی و نتیجه‌گیری

مدل‌های سه‌بعدی شهری در اجرای بسیاری از تحلیل‌های مکانی به کار گرفته می‌شوند. از این رو ساخت این

خروجی روش، مدل سه‌بعدی در قالب CityGML می‌باشد که قابلیت استفاده به عنوان ورودی برای نرم افزارهای دیگر و اجرای تحلیل‌های مکانی ثانویه را دارد.

مدل‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. از سوی دیگر جمع‌آوری اطلاعات سه‌بعدی لازم برای ایجاد این مدل‌ها، نیاز به هزینه و زمان بسیاری دارد. امروزه دانش مکانی کاربران و اطلاعات مکانی که آن‌ها از محیط پیرامون خویش به اشتراک می‌گذارند بخش وسیعی از پایگاه داده‌های مکانی را تشکیل می‌دهد. پایگاه‌های اطلاعات مکانی داوطلبانه یکی از منابع مهم و پر کاربرد استخراج اطلاعات سه‌بعدی به شمار می‌روند. استفاده از داده‌های داوطلبانه تا حد زیادی هزینه مربوط به اخذ داده را کاهش می‌دهد و باعث افزایش مشارکت عمومی در روند جمع‌آوری اطلاعات می‌گردد. در سال‌های اخیر استفاده از پایگاه داده OSM برای ساخت مدل‌های سه‌بعدی بسیار مورد توجه بوده و در این راستا تحقیقات وسیعی صورت گرفته است. اگرچه ساخت مدل براساس اطلاعات داوطلبانه در مراحل اولیه قرار دارد ولی ایده این کار جدید نیست. تحقیقات موجود هر کدام به جنبه خاصی از مدلسازی سه‌بعدی پرداخته و اغلب بر جنبه نمایشی این مدل‌ها تمرکز داشته‌اند. در چارچوب فعالیت حاضر روشی برای استخراج خودکار اطلاعات سه‌بعدی از داده‌های موجود در OSM و ایجاد مدل سه‌بعدی در قالب CityGML و سطح ۴ جزئیات ارائه شده است. اطلاعات هندسی پای ساختمان به همراه اطلاعات معنایی بخش‌های مختلف وارد برنامه و به ترتیب ساختمان‌های موجود در محدوده مورد نظر پیاده‌سازی می‌شود. در هر ساختمان نیز مدلسازی از پایین‌ترین طبقه شروع و با تکمیل محوطه داخلی و خارجی هر طبقه، با پیاده‌سازی سقف ساختمان پایان می‌یابد.

مهمترین و کلیدی‌ترین نکته در روش پیشنهادی اتوماتیک بودن کامل روش می‌باشد. در این روش، پلان ساختمان به صورت فایل با قالب osm. از پایگاه داده OSM خروجی گرفته می‌شود و به عنوان ورودی به برنامه اضافه می‌شود. پس از انجام پردازش‌های لازم، خروجی فایل سه‌بعدی ساختمان‌ها در قالب CityGML می‌باشد. بنابراین تمام مراحل سه‌بعدی سازی بدون دخالت عامل انسانی و به صورت کاملاً خودکار انجام می‌گیرد که دارای مزایای متعددی می‌باشد. این روش تا حد زیادی هزینه

مربوط به سه‌بعدی کردن ساختمان‌ها بر اساس عامل انسانی را کاهش می‌دهد. سرعت این روش بسیار بالا بوده (برای هر ساختمان در حد چند میلی ثانیه) و در قیاس با ساخت ساختمان توسط عامل انسانی سرعت بسیار زیادی دارد. از طرف دیگر خودکار بودن روش سبب می‌شود که خطای مربوط به عامل انسانی در پیاده‌سازی و سه‌بعدی کردن به صفر برسد. در کل، صرفه جویی در هزینه، سرعت بالا و کاهش خطای انسانی از مزایای قابل توجه روش پیشنهادی در مقایسه با ایجاد مدل سه‌بعدی توسط عامل انسانی می‌باشد. از سوی دیگر این روش علاوه بر چارچوب محوطه بیرونی ساختمان، به ساخت مدل سه‌بعدی با پوشش محوطه داخلی ساختمان پرداخته است. سطح ۴ جزئیات در مدل سه‌بعدی CityGML به فضای داخلی ساختمان پرداخته است. مدل خروجی برنامه در سطح ۴ جزئیات بوده و راهروها، اتاق‌ها، راه پله‌ها، در و پنجره داخلی ساختمان را با دقت بالایی به فرمت سه بعدی CityGML تبدیل می‌کند. از سوی دیگر پوشش محوطه داخلی نیاز به دخالت کاربر ندارد و کاملاً خودکار انجام می‌گیرد و از نظر نیاز به اطلاعات معنایی نیز، این امر با حداقل اطلاعات معنایی ممکن صورت می‌گیرد. خروجی برنامه فوق فایل ساختمانی در سطح ۴ جزئیات بوده و به علت پوشش محوطه داخلی ساختمان علاوه بر کاربردهای رایج برای مدل‌های سه‌بعدی، امکان استفاده برای ناوبری داخل ساختمان را نیز دارد.

در تحقیق ارائه شده، سعی شده است به مسئله مدلسازی سه‌بعدی با نگاه همه جانبه پرداخته شود. روش مذکور از حداقل اطلاعات معنایی و توصیفی برای ساخت مدل سه‌بعدی استفاده می‌کند. علاوه بر تمرکز بر بعد نمایشی در خروجی حاصل، روابط توپولوژیک بین عوارض نیز حفظ شده است. همچنین با استفاده از این روش می‌توان از مدل سه‌بعدی ساخته شده در قالب رایج و پر کاربرد CityGML، برای تحلیل‌های مکانی استفاده کرد. از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان در زمینه توسعه‌ی مجازی سه‌بعدی شهرها مبتنی بر اطلاعات داوطلبانه VGI بهره شایانی برد.

## مراجع

- [1] Goetz, M., Zipf, A. (2013). The Evolution of Geo-Crowdsourcing: Bringing Volunteered Geographic Information to the Third Dimension. In Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice (pp. 139-159). Springer Netherlands.
- [2] Walenciak, G., Stollberg, B., Neubauer, S. and Zipf, A. (2009). Geoprocessing Functionality 3D Simulations in Disaster Management and environmental Research Extending Spatial Data Infrastructures

- 3D by. The International Conference on Advanced Geographic Information Systems & Web Services, (pp. 40-44). EOWS.
- [3] Goetz, M., Zipf, A. (2012). OpenStreetMap in 3D—detailed insights on the current situation in Germany. Proceedings of the AGILE 2012 International Conference on Geographic Information Science, (pp. 24-27). Avignon.
  - [4] Goetz, M., Zipf, A. (2012). Towards defining a framework for the automatic derivation of 3D CityGML models from volunteered geographic information. International Journal of 3-D Information Modeling, 1(2), 1-16.
  - [5] Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: The world of volunteered geography. GeoJournal, 69(4), 211-221.
  - [6] Turner, A. (2006). Introduction to neogeography. O'Reilly Media, Inc.
  - [7] Lin, W. (2013). When Web 2.0 Meets Public Participation GIS (PPGIS): VGI and Spaces of Participatory.
  - [8] 3D. (2015). (OpenStreetMap) Retrieved 11 13, 2015, from <http://wiki.openstreetmap.org/wiki>
  - [9] Uden, M., Zipf, A. (2013). Open Building Models: Towards a Platform for Crowdsourcing Virtual 3D Cities. In Progress and New Trends in 3D Geoinformation Sciences (pp. 299-314). Berlin Heidelberg: Springer.
  - [10] Arsanjani, J. J., Zipf, A., Mooney, P., and Helbich, M. (2015). OpenStreetMap in GIScience: Experiences, Research, and Applications. Springer.
  - [11] Schilling, A., Over, M., Neubauer, S., Neis, P., Walenciak, G. and Zipf, A. (2009). Interoperable Location Based Services for 3D cities on the Web using user generated content from OpenStreetMap. In Urban and Regional Data Management : Udms Annual (pp. 75-84). CRC Press.
  - [12] Palen, L., Soden, R., Anderson, T. J. and Barrenechea, M. (2015). Success & Scale in a Data-Producing Organization: The Socio-Technical Evolution of OpenStreetMap in Response to Humanitarian Events. Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM.
  - [13] Kendzi3D. (2015). Retrieved 1 3, 2016, from <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/JOSM/Plugins/Kendzi3D>
  - [14] kendzi3d. (2014). (github) Retrieved 11 27, 2015, from <https://github.com/kendzi/kendzi3d>
  - [15] Zardini, A. Z.(1390). 3D Spatial Web ServicesCase Study: 3D Cadaster. M.S. thesis. Dept., Eng., Tehran Univ., Tehran.
  - [16] Mark Barnes, M., Finch, E., L. (2008). COLLADA, Digital Asset Schema, Release 1.5.0, Sony Computer Entertainment.
  - [17] Prieto, I., Izkara, J. L. and del Hoyo, F. J. D. (2012). Efficient visualization of the geometric information of CityGML: application for the documentation of built heritage. In Computational Science and Its Applications—ICCSA 2012 (pp. 529-544). Springer Berlin Heidelberg.
  - [18] Mao,B. (2013). Visualisation and Generalisation of 3D City Models. Ph.D. thesis. Dep. Urban Planning and Environment, KTH, Stockholm, Sweden.
  - [19] Gröger, G., Kolbe, T. H., Nagel, C., and Häfele, K. H. (2012). Open Geospatial Consortium OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard.
  - [20] Kemec, S., Zlatanova, S. and Duzgun, S. (2012, June). A new LoD definition hierarchy for 3D city models used for natural disaster risk communication tool. In Proceedings of the 4th International Conference on Cartography & GIS, Volume 2, Albena, June 2012, pp. 17-28. International Cartographic Association.
  - [21] Mortari,F. (2013).Automatic extraction of improved geometric network model from citygml for indoor navigation. M.S. thesis. TU Delft, Delft, Netherlands.
  - [22] Goetz, M. (2013). Towards generating highly detailed 3D CityGML models from OpenStreetMap. International Journal of Geographical Information Science, 27(5), 845-865.
  - [23] Goetz, M., Zipf, A. (2011). Extending OpenStreetMap to indoor environments: bringing volunteered geographic information to the next level. CRC Press: Delft, The Netherlands.
  - [24] Abbasi, S., Malek, M. R. (2015). Design and Modeling of a 3D Volunteered Geographic Information with an Interoperable Description for Fundamental Components of a Building. JGST. 4 (4) :15-28